



Automatisk beståndsavgränsning i satellitbilder

- En jämförelse av gränser från två segmenteringsmetoder och Grön Plan

Henrik Lövdahl

Arbetsrapport 144 2005

Förord

Detta arbete har utförts vid institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Umeå. Arbetet är ett examensarbete inom skogsvetarprogrammet och motsvarar 20 poäng. Uppdragsgivare var skogsvårdsstyrelsen i Västerbottens län som önskade en jämförelse av olika metoder för beståndsavgränsning vid skogsindelning och möjligheterna att för detta ändamål utnyttja segmentering och satellitbilsdata. Arbetet ingår i ett EU-finansierat projekt, under namnet Forest SAFE.

Handledare vid SLU har varit Mats Nilsson och Lars Björk har varit handledare vid Skogsvårdsstyrelsen i Umeå. Ett stort tack till bägge mina handledare, för ett stort stöd i arbetet. Även övriga personer, främst vid institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik, som jag upprepade gånger plågat med mina frågor och tjänster ska ha en stor eloge för ett bra bemötande.

Umeå, april 2005

Henrik Lövdahl

Innehållsförteckning.

	Sammanfattning	
	Summary	
1.	Inledning	5
1.1	Satellitbilder	5
1.2	Segmentering	6
1.3	Syfte	6
2.	Material och metoder	7
2.1	Försöksområdet	7
2.2	Satellitdata	8
2.3	Kartdata	8
2.4	"k-Nearest Neighbor" data	8
2.5	Segmentering	8
2.6	Utvärdering	9
2.7	Programvaror	10
3.	Resultat	11
3.1	Beståndsindelning	11
3.2	Utvärdering av gränser	13
3.2.1	Grundyta	13
3.2.2	Medeldiameter	13
3.2.3	Medelhöjd	14
3.2.4	Trädslagsfördelning	14
3.2.5	Alla variabler	15
4.	Diskussion	16
4.1	Beståndsindelning	16
4.1.1	Flygbildstolkning med fältkontroll	16
4.1.2	Segmentering utifrån spektrala data	16
4.1.3	Segmentering utifrån skattade variabler	16
4.2	Framtiden	17
4.3	Felkällor	18
5.	Källförteckning	19
	Bilagor	20
1.	AML-program för segmentering utifrån rasterskikt med skattade variabler	20
2.	Schematisk bild av programmet för segmentering utifrån kNN-uppskattade variabler	21
3.	Fältutrustning	22
4.	Indelningskriterier	23

Sammanfattning

Insamling av skogliga data är en viktig komponent i alla skogsorganisationers eller företags planeringsprocess. Traditionellt har man använt sig av flygtolkning och uppföljning i fält för att ta fram skogliga data. Men metoden är relativt dyr och därför har jag valt att titta på alternativa metoder där man använder satellitbilder eller variabler som skattats utifrån satellitbilder för att automatiskt avgränsa bestånd med hjälp av segmenteringsteknik.

För undersökningen har jag använt skogsvårdsstyrelsens skogsinnehav i Bäcksjön. Fastigheten ligger ca. 2 mil nordväst om Umeå i Västerbottens län. Två segmenteringsmetoder har jämförts med en traditionell indelning utifrån flygbilder. Den ena metoden utgår från en satellitbild och den andra utgår från pixelvisa uppskattningar av skogliga variabler som tagits fram genom att kombinera en satellitbild och fältdata med hjälp av kNN-metoden.

Vid segmenteringen utifrån bilddata användes en Landsat TM-bild. Först delades bilden in i små segment. I nästa steg slogs intilliggande segment ihop om inte den spektrala skillnaden var större än ett givet testvärde. Segment som blev alltför små slogs ihop med angränsande segment även om de spektralt avvek från varandra. Segment slogs inte ihop om arealen för det nya objektet blev alltför stor. För att kunna ta fram en segmentering utifrån skattade data var det nödvändigt att utveckla en ny programvara. Den metod som implementerats utgår ifrån samma små segment som segmenteringen utifrån bilddata. Skillnaden är att sammaslagningen av segment inte sker utifrån spektrala data utan utifrån segmentsvisa medeltal för variabler som skattats mha kNN-metoden. På båda sidor om 20 slumpmässigt utvalda gränser från vardera indelning inventerades skogen mha fem relaskopytor, där grundyta, medelhöjd, medeldiameter och trädslagsblandning registrerades.

Resultaten av undersökningen visar att det inte är någon skillnad mellan de testade indelningsmetoderna. En tendens är dock att metoden som baseras på automatisk segmentering med hjälp av variabler som skattats utifrån en satellitbild i medeltal ger något tydligare gränser med avseende på grundyta, medeldiameter och medelhöjd. Tendensen var inte lika tydliga när det gäller trädslagsgränser.

Summary

Accurate and up-to-date forest data is important for making the right decisions in all forest organizations or companies. In Swedish forestry the tradition is to use aerial photos and complementary field inventory to delineate stands and collect forest data describing the stands. This method is quite expensive and therefore it has been of interest to investigate if alternative methods based on segmentation of satellite images can be used for stand delineation.

In this study, the Bäcksjön forest estate owned by the County Board of Forestry in Västerbotten was used as test site. The property is located about 20 km north-east of Umeå. Three types of stand delineation methods were evaluated; traditional delineation using aerial photos, segmentation of a satellite image (Landsat ETM+), and finally segmentation of a raster image with estimated forest variables derived using the k Nearest Neighbor (kNN) method.

The segmentation of the satellite image was conducted using the t-ratio segmentation method. The segmentation based on kNN-estimated variables was done in a number of steps. First, small segments (a few pixels per segment) were created by applying the t-ratio segmentation method to the original satellite image. In the next step, mean values of the estimated forest variables were calculated for all segments using ArcInfo. Finally, the segments were merged based on similarity between forest variables until the same mean stand size as in the stand delineation based on aerial photos was achieved. Twenty borders were randomly selected for each type of delineation. The forest on both sides of these borders was measured using five sample plots. Basal area, average diameter, average tree height and the tree species composition was measured on all sample plots.

The result of the study shows that there is no significant difference between the methods used for stand delineation regarding the difference between variables in adjacent stands along borders. But in most cases the difference was stronger for the segmentation based on kNN-estimated forest variables. This method produced on an average the biggest difference between stands for basal area, average diameter and average tree height. The difference was not as clear for basal area by tree species, especially not for spruce where the highest difference in basal area was obtained for aerial photo interpretation.

1 Inledning

Alla företag och organisationer som jobbar med skog är i behov av skogliga data, och helst till ett rimligt pris. Det vanligaste sättet att handskas med sitt skogsinnehav är att dela in skogen i bestånd. Ett bestånd är vanligtvis ett homogent området, vad gäller t.ex. ålder, trädslagsblandning och virkesförråd. Vid kartläggning av skogar har man i Sverige traditionellt använt sig av flygbilder (Hagner et al 1999). Syftet har främst varit att avgränsa bestånd, men även att försöka samla in skogliga data som t.ex. trädslagsblandning och virkesförråd. Den indelningsmetod som idag används av många skogsbolag, skogsägareföreningar och skogsvårdsvårdsorganisationen har ursprungligen utvecklats av Lantmäteriet (Åge 1983).

1.1 Satellitbilder

Idag finns ett nytt hjälpmedel för att kartlägga skogar i form av digitala satellitbilder. Fördelen med dessa är främst att de täcker stora områden och att nya satellitbilder registreras med korta intervall. Satellitens sensor registrerar reflekterat ljus i ett eller flera våglängdsområden och de bilder som används i skogliga tillämpningar har vanligen en upplösning på 6-30 m. Ett bildelement (pixel) i satellitscenen avbildar därmed en grupp av träd. En vanlig sensor i skogliga sammanhang är Landsat Thematic Mapper (TM). En sådan scen täcker 185x185 km och har en markupplösning på 30 m, dvs. ett bildelement motsvarar 30x30 m på marken.

Landsat TM är en multispektral skanner som registrerar i 7 olika våglängdsområden eller våglängdsband. Informationsvärdet för dessa band varierar beroende på tillämpningen. I tabell 1 redovisas exempel på användningsområden för de olika banden.

Tabell 1. Våglängdsområden och exempel på användningsområden för Landsat TM sensorn (från Lillesand et al. 2000)

Band	Våglängd (µm)		Användningsområde i skogliga sammanhang
1	0.45-0.52	blått	Kartläggning av skogsmark, är diskänslig.
2	0.52-0.60	grönt	För vegetationsurskiljning samt vigör på vegetation.
3	0.63-0.69	rött	Urskiljning av växtarter.
4	0.76-0.90	Nära IR	För bestämning av vegetationstyp.
5	1.55-1.75	Mellan IR	Indikerar fukthalt i vegetation.
6	10.4-12.5	Termisk IR	Användbar i vegetationsstressanalyser.
7	2.08-2.35	Mellan IR	Känslig för fukthalt i vegetation.

1.2 Segmentering

Segmentering innebär någon form av indelning i områden eller klasser. Genom att använda en metod för automatisk segmentering av satellitbilder kan man snabbt och kostnadseffektivt dela in ett område i spektralt homogena segment. En segmenterad bild kan användas för flera ändamål, men i detta examensarbete har jag endast tittat på hur olika segmenteringsmetoder kan användas för att avgränsa bestånd utifrån Landsat TM-data.

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att jämföra gränser som tagits fram med hjälp av automatisk segmentering av en satellitbild med gränser som erhålls när traditionella indelningsmetoder används. De beståndsindelningsmetoder som jämförs och utvärderas är:

1. Traditionell beståndsindelning med hjälp av flygbildstolkning och efterföljande fältkontroll (här i form av en s.k. Grön skogsbruksplan).
2. Automatisk segmentering utifrån en satellitbils spektralvärden.
3. Automatisk segmentering med hjälp av variabler som skattats utifrån en satellitbild (s.k. kNN-skattningar, se kap 2.4).

Tanken är att se om någon av de automatiska segmenteringsmetoderna är tillräckligt bra för att användas operationellt av skogsvårdsorganisationen. Metoden där beståndsavgränsningen görs i flygbilder är den metod som de flesta företag och organisationer använder idag. Fördelen med de två senare metoderna är att de är relativt billiga och tidseffektiva. Den första av de automatiska segmenteringsmetoderna använder endast spektrala skillnader i bilden och det kan därför skapas beståndsgränser på ställen där de spektrala skillnaderna beror på andra faktorer än de som är beståndsavgränsande, t ex markvegetationen. Därför testas i det andra fallet en segmenteringsmetod som baseras på skattade variabler, d v s en bild där värdet i varje bildelement är en uppskattning av t ex grundyta eller trädslagsblandning.

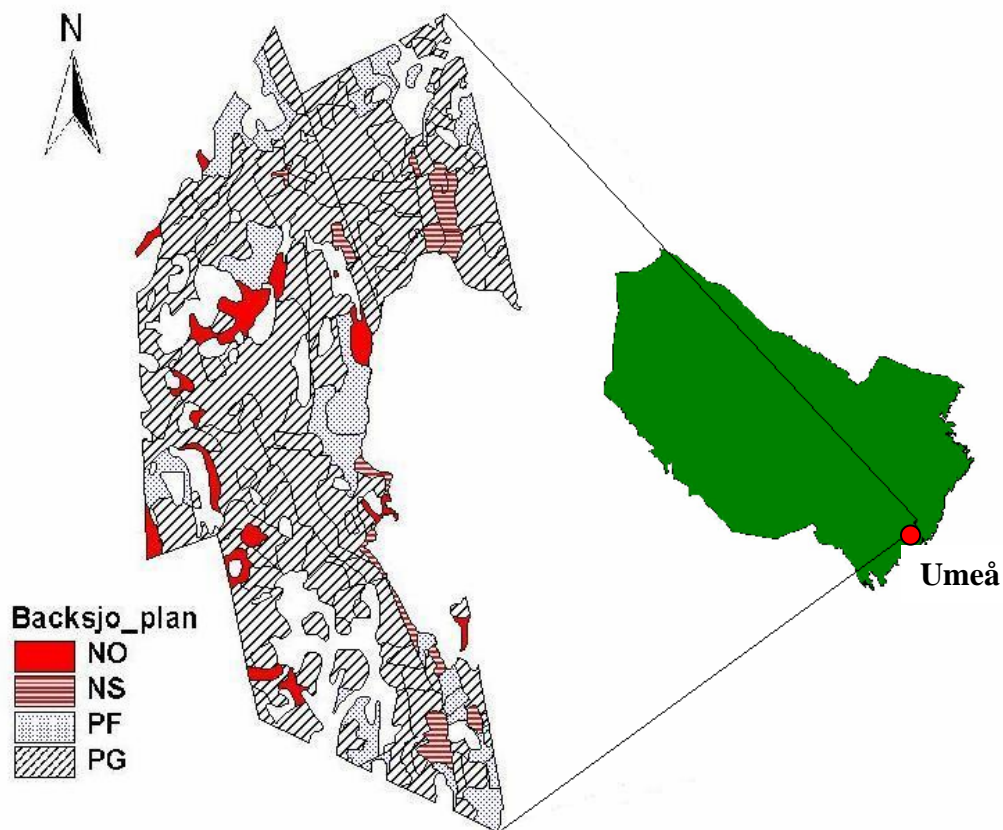
2. Material och metoder

Arbetet har i huvudsak bestått av programmering, segmentering, fältinventering, samt sammanställning och utvärdering. Det material som använts i arbetet består till största del av geografiska data, samt programvaror av olika slag.

En metod för att ta fram bestandsgränser utifrån variabler som uppskattats med hjälp av satellitbildsteknik har utvecklats. Resultatet blev ett program som automatiskt slår ihop segment till bestånd efter förutbestämda kriterier.

2.1 Försöksområdet

Området består av Skogsvårdsstyrelsens skogsinnehav i Bäcksjön. Detta är beläget ca. 2 mil norr om Umeå (figur 1). Anledningen till valet av Bäcksjön var dels innehavet av en Grön Plan från 1999 och dels tillgången till en molnfri satellitbild över området från samma år. Bäcksjön består av 612 ha produktiv skogsmark. Den Gröna Planen för området har en medelbestandsstorlek på 4,8 ha. Det finns 33 ha NO-bestånd, 28 ha NS-bestånd, 97 ha PF-bestånd, och 454 ha PG-bestånd. NO, NS, PF, PG står för olika skötselstrategier beroende på vilken hänsyn man skall ta vid skötsel. NO står för "naturvårdsmål orört", vilket betyder att man lämnar beståndet för fri utveckling (Skogsstyrelsen 1998). NS står för "naturvårdsmål skötsel" och det innebär en skötselstrategi där man gynnar de befintliga naturvärdena eller gynnar utvecklingen av naturvärden. PF står för "produktionsmål förstärkt naturhänsyn". Här tar man extra hänsyn till naturvärden när man brukar skogen. PG står för "produktion - generell naturhänsyn", vilket betyder att man tar generell naturhänsyn vid skogsbruksåtgärder, t ex lämnar evighetsträd vid avverkning.



Figur 1. Översiktsskarta över försöksområdets placering i Västerbottens län.

2.2 Satellitdata

En Landsat 7 ETM-scen tagen den 27 juli 2000 (193/15) har använts i detta arbete. Bilden var geometriskt precisionskorrigerad till rikets nät. Vid precisionskorrigerad ändrades pixelstorleken från 30m till 25m.

2.3 Kartdata

Vid segmentering av en satellitbild delas bilden in i en mängd segment. Om man inte är intresserad av att få med något annat ägoslag än skogsmark måste dessa väljas bort. Detta görs genom att lägga en s.k. mask på satellitbilden som talar om vilket område som skall segmenteras.

För att slippa handskas med andra områden än SVS:s skogsinnehav skapades därför en skogsmask utifrån den Gröna Planen. För att få en så bra avgränsning som möjligt av skogsmarken togs vägar bort med hjälp av vägsiktet från Lantmäteriets Blå karta.

2.4 ”k-Nearest Neighbor”-data

En heltäckande rasterdatabas där det i varje cell fanns uppgifter om grundyta per trädslag, volym per trädslag, medelhöjd, medeldiameter och beståndsålder fanns redan tillgänglig vid SLU. Materialet har tagits fram genom att kombinera satellitbilden och provytedata från Riksskogstaxeringen i den sk ”k-Nearest Neighbor”-metoden (kNN-metoden).

I kNN räknas de skogliga variablerna för varje pixel ut som ett vägt medelvärde av spektralt närliggande pixlar med känt skogstillstånd (Muinonen & Tokola, 1990), dvs pixlar som kopplats till Riksskogstaxeringens provytor. För att metoden skall fungera måste samtliga skogstyper finnas representerade bland provytorna (Nilsson, 1997). Detta kan ordnas genom att lägga ut provytor jämt fördelat över hela arealen eller välja ut representativa ytor utifrån befintlig förhandsinformation, t ex satellitbilder.

Noggrannheten för kNN-skattade variabler är mindre exakt på pixelnivå (Tokola, et al. 1996), men stämmer bättre överens med verkligheten om skattningarna aggregeras till större arealer (Tomppo, 1990). Två studier i Västerbotten har visat att virkesförråd som skattats utifrån en Landsat TM-scen hade ett medelfel på 22 och 26 procent på beståndsnivå (Hagner et al. 1999). Motsvarande siffror för de subjektiva metoder som man normalt använder i skogsbruket är 18 till 21 procent (Hagner et al 1999).

2.5 Segmentering

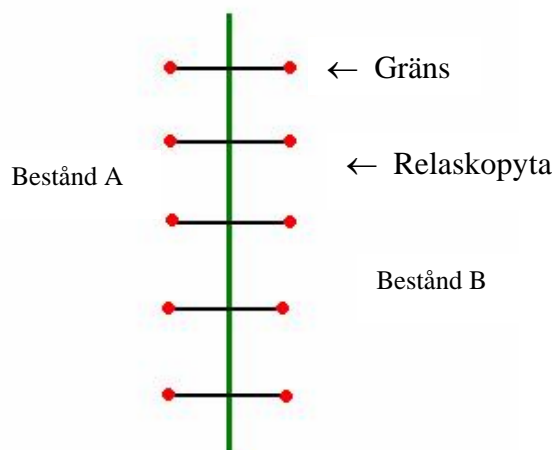
Segmenteringen skedde på två olika sätt. I den första metoden skapades bestånd automatiskt utifrån satellitbildens spektralvärden m.h.a. t-kvotssegmentering (Hagner 1990). T-kvotssegmentering är en typ av områdesförstorande algoritm. Idén är att angränsande områden skall slås samman om de inte skiljer sig åt med mer än den angivna t-kvoten. Vid segmenteringen delas bilden in i homogena segment, deras storlek varierar beroende på de kriterier som man definierar före segmentering. I den slutgiltiga segmenteringen har en minsta segmentstorlek på 0,5 ha använts medan ingen begränsning fanns på hur stora segmenten fick bli.

I den andra segmenteringsmetoden skapades först små segment utifrån satellitbildens spektralvärden. Dessa segment tilldelades medelvärden för grundyta, trädslagsfördelning, höjd, beståndsålder och medeldiameter m h a de befintliga kNN-skattningarna. Tanken är sedan att intelligande segment skall slås ihop om de inte uppfyller de indelningskriterier som Skogsvårdsstyrelsen har för Grön skogsbruksplanläggning. För att nå målsättningen med lika stor medelbeståndsstorlek eller linjelängd som indelningen i den Gröna Planen var jag tvungen att justera indelningskriterierna. Därefter slogs angränsande segment med liknande beståndsegenskaper samman i en iterativ process till dess att önskad medelbeståndsstorlek uppnåts. Indelningskriterierna för respektive variabel finns beskrivna i bilaga 4.

Det producerades en rad segmenteringar, med olika stora medelsegmentsstorlekar. Var och en granskades visuellt innan det bestämdes vilken som skulle användas. Den algoritm som implementerats finns beskriven i bilaga 1.

2.6 Utvärdering

För att kunna jämföra kvaliteten på de gränser som skapats med de olika metoderna utfördes en fältinventering av 20 slumpmässigt valda beståndsgränser för vardera den Gröna Planen och de två segmenteringsmetoderna. På varje utlottad gräns lades 5 punkter ut, med jämna mellanrum. Från varje punkt lades en 25m transekt ut vinkelrätt åt vardera håll från gränsen och i änden på varje transekt mättes en relaskopyta (se figur 2). På varje relaskopyta bestämdes grundytan fördelat på trädslag, medeldiameter och höjd. Detta resulterade i 10 provvytor per gräns á 60 gränser, vilket ger 600 provvytor. Gränsen lokaliserades med GPS, men den exakta positionen av gränsen bestämdes på plats. Medelskillnaden mellan variablerna på motstående provvytor beräknades och för varje gräns och slutligen togs medelvärden och standardavvikelser fram för varje gränstyp.



Figur 2. Beskrivning av provvytsutläggning.

Fältutrustningen bestod av en Garmin GPS för navigering och positionsbestämning av gränser, samt en Pocket PC (COMPAQ IPAQ) för lagring av kartor och data. Genom att koppla ihop GPS och IPAQ kunde man lätt navigera i fält genom att positionen visualiseras i kartan på IPAQ:en. Till IPAQ:en användes ett skal för att skydda den mot väta och smuts. Se även bilaga 2 för bilder.

Vid utvärderingen beräknades först differensen mellan variablevärdena i änden på varje transekt. Därefter togs ett medelvärde av dessa differenser fram för varje gräns. Slutligen beräknades medelvärden och standardavvikelser för varje indelningsmetod. Tanken är att den bästa indelningsmetod är den som ger de största differenserna.

Utvärderingen gjordes både variabelvis och för alla variabler samtidigt. I det senare fallet definierades skillnaden utmed en linje med hjälp av Mahalanobis avstånd (Krzanowski, 2000). Genom att använda Mahalanobis avstånd tas även hänsyn till att de olika variablerna är korrelerade med varandra. Vid analysen användes samtliga variabler utom grundyta för gran. Anledningen till att grundyta för gran inte tagits med är att om både den totala grundytan och grundytan för samtliga trädslag tagits med i beräkningarna hade samma information funnits med två gånger.

2.7 Programvaror

Segmenteringen utifrån spektrålvärden utfördes med SkoGIS som är ett program för behandling av fjärranalysdata för skogliga ändamål. Programmet har utvecklats på fjärranalysavdelningen vid SLU i Umeå (Näsholm 1996). SkoGIS består av en rad mer eller mindre oberoende moduler.

En stor del av arbetet utfördes i ESRI:s programvaror ArcInfo, ArcView och ArcPad. Valet av ESRI:s mjukvara beror främst på att dessa används i undervisningen på skogvetarprogrammet vid SLU i Umeå.

ArcInfo består av en rad olika verktyg som ger möjlighet att behandla och omvandla geografiska data och tabelldata i olika format (Environmental Systems Research Institute, Inc. 1988). Implementeringen av metoden för segmentering med hjälp av variabler som skattats utifrån en satellitbild har gjorts i ArcInfo:s programspråk AML (Arc Macro Language). ArcInfo användes dessutom för konvertering av filer mellan SkoGIS och ArcView.

ArcView är utvecklat för att kunna hantera geografiska data och göra analyser. Det är inte lika kraftfullt som ArcInfo, men enklare att använda. ArcView användes i huvudsak för att kontrollera att de filer som skapades var korrekta, och för framställandet av skogsmasken, samt att klippa kNN-data till rätt omfång. Dessutom gjordes utlottning av besökspunkter för fältundersökningen i ArcView.

ArcPad är ett enkelt GIS-program som är lämpligt för användning i datasamlare i fält. ArcPad är framtaget och anpassat för att användas i bärbara datorer med 'touch screen'. Det har flera GIS funktioner och möjlighet till inkoppling av GPS (Global Positioning System). ArcPad användes för karthantering i fältarbetet.

3. Resultat

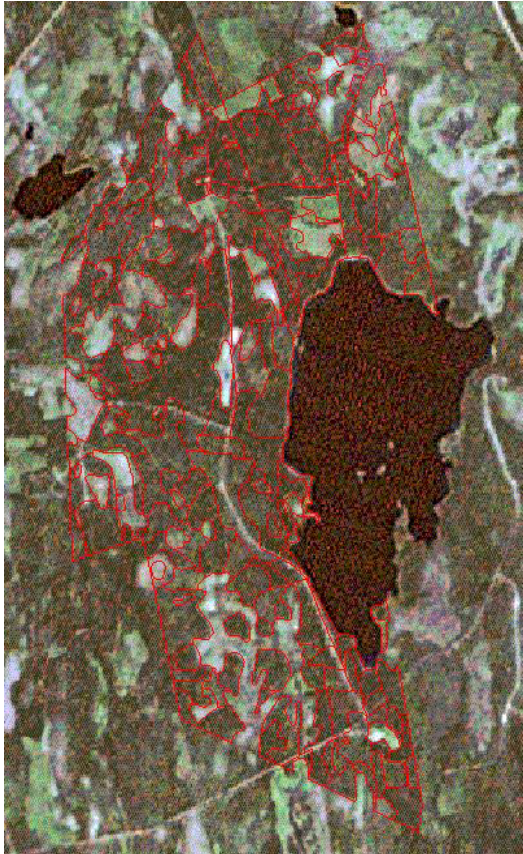
3.1 Beståndsindelningar

Som tidigare beskrivits jämförs tre olika indelningsmetoder. Målet var att medelbeståndsstorlek och den totala linjelängd skulle vara lika stora för de olika indelningarna (tabell 2). Den Gröna Planens areal och linjelängd eftersträvades i de bägge andra indelningstyperna. Figur 3, 4 och 5 visar de indelningarna som erhöles för de tre metoderna.

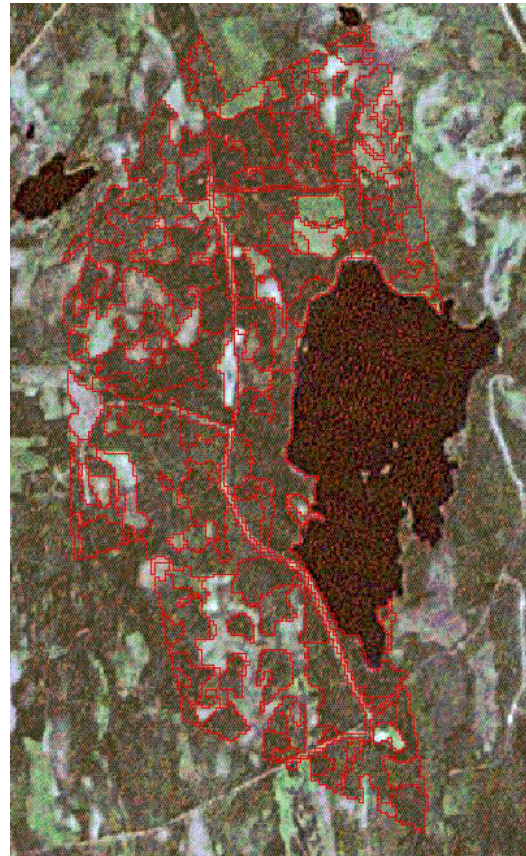
Tabell 2. Statistik för respektive gränstyp.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Linjelängd (m)			
- Total linje	111579,5	133575,0	140000,0
- Medel	212,1	284,8	176,5
- Standard avvikelse	195,2	264,4	196,5
- Max	1496,2	1850,0	2375,0
- Min	6,3	25,0	25,0
Medelareal (ha)	4,8	4,6	4,5

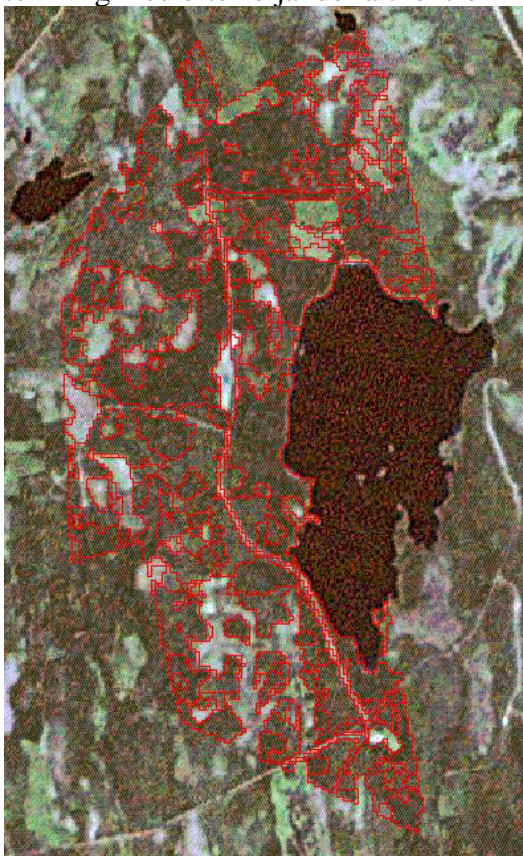
När man betraktar indelningarna så kan man konstatera att segmenteringen utifrån skattade variabler innehåller flera stora och fler små bestånd än den andra två indelningarna. Detta kan förklaras med hur de är skapade. Om ett litet område är avvikande så kommer det att förbli ett bestånd, eftersom metoden inte tar någon hänsyn till storleken vilket de andra två metoderna gör.



Figur 3. Beståndsindelning från flygbilds-tolkning med efterföljande fältkontroll



Figur 4. Beståndsindelning genom segmentering utifrån spektrala data



Figur 5. Beståndsindelning genom segmentering utifrån skattade variabler.

3.2 Utvärdering av gränser

Vid utvärderingen beräknades differensen mellan provpunkterna på vardera sida om gränsen först mot varandra, och ett medelvärde tas för gränsen. Sedan tas ett medelvärde för hela gränstypen, det är det medelvärde som kan utläsas i tabellerna 3-8 nedan. I tabell 3-5 finns två maxvärden för flygbildstolkningen med fältkontroll. Maxvärdet inom parentes representerar gränsen mellan hygge och äldre skog. Eftersom någon sådan gräns inte inventerats för de andra metoderna anges dessutom det näst högsta värdet för metoden.

3.2.1 Grundyta

Vid jämförelse av grundyta finns den i medeltal största differensen hos kNN-gränserna, med en medeldifferens på 6,3 m²/ha (tabell 3). Skillnaden mot flygbildstolkningen med fältkontroll var drygt 2 m²/ha, där differensen var 4,0 m²/ha. Segmenteringsgränserna avvek dock mindre, 4,8 m²/ha i differens.

Tabell 3. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av grundyta för varje gränstyp, enhet m²/ha.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	4,0	4,8	6,3
Standardavvikelse	4,1	3,2	4,4
Max	8,4 (24,2)	11,0	13,8
Min	0,0	0,0	0,2

3.2.2 Medeldiameter

Vid jämförelse av medeldiameter finns den största differensen hos kNN-gränserna, 6,6 cm medeldifferens (tabell 4). Flygbildstolkningen med fältkontroll hade en skillnaden på 6,0 cm, medan segmenteringen hade den mista differensen på 5,3 cm.

Tabell 4. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av medeldiameter för varje gränstyp, enhet cm.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	4,9	5,3	6,6
Standardavvikelse	3,3	4,7	5,3
Max	12,4 (25,4)	16,4	17,2
Min	0,0	0,0	0,0

3.2.3 Medelhöjd

Skillnaderna i medelhöjd var återigen störst hos kNN-gränserna, 5,2 m skillnad (tabell 5). Även här har segmenteringen den minsta skillnaden 4,0 m och flygbildstolkningen med fältkontroll däremellan 4,0 m.

Tabell 5. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av medelhöjd för varje gränstyp, enhet m.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	3,1	4,0	5,2
Standardavvikelse	2,7	4,4	5,1
Max	10,4 (21,6)	16,0	16,2
Min	0,0	0,0	0,0

3.2.4 Trädslagsfördelning

Vid jämförelse av trädslagsfördelningen beräknat på grundytan, fanns den tydligaste skillnaden för tallandelen hos kNN-metoden (tabell 6), medan flygbildstolkningen med fältkontroll fann den tydligaste skillnaden för granandel (tabell 7) och segmenterings metoden den tydligaste skillnaden för lövandel (tabell 8).

Tabell 6. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av grundyta för tall för varje gränstyp, enhet m²/ha.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	4,8	4,6	5,3
Standardavvikelse	3,7	2,5	3,6
Max	14,0	8,2	10,4
Min	0,4	0,0	0,0

Tabell 7. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av grundyta för gran för varje gränstyp, enhet m²/ha.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	7,5	6,1	7,4
Standardavvikelse	4,8	4,2	5,2
Max	17,8	14,0	16,0
Min	0,8	0,0	1,0

Tabell 8. Medeldifferens, standardavvikelse, max och min värden av grundyta för löv för varje gränstyp, enhet m²/ha.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medeldifferens	1,4	1,7	1,7
Standardavvikelse	1,5	2,0	2,4
Max	5,0	7,2	9,6
Min	0,0	0,0	0,0

3.2.5 Alla variabler

Inte för någon av de testade variablerna erhöles någon significant skillnad. Tendensen var dock att segmenteringen utifrån uppskattade variabler oftast gav högst medeldifferens. För att se om metoderna totalt sett skiljer sig åt genomfördes även en analys där alla variabler (utom grundyta för gran) utvärderades samtidigt. Detta gjordes genom att beräkna skillnaden mellan intelligande bestånd mha Mahalanobis avstånd. Resultatet från analysen redovisas i tabell 9. Slutsatsen är att det inte finns någon signifikant skillnad mellan de olika metoderna som testats i detta examensarbete.

Tabell 9. Medeldifferens och standardavvikelse för respektive metod baserat på total grundyta, grundyta för tall respektive löv, medeldiameter och medelhöjd. Skillnaderna mellan intelligande bestånd har beräknats mha Mahalanobis avstånd.

	Gränstyp		
	Flygbildstolkning + fältkontroll	Segmentering; spektrala data	Segmentering; skattade data
Medel	2,6	2,2	2,8
Standardavvikelse	1,1	1,2	1,2

4. Diskussion

Skogsbruket letar ständigt efter nya och kostnadseffektiva metoder för att samla in skogliga data. Utvecklingen inom fjärranalysområdet går mot satellitbilder med hög upplösning som kan användas för att kartera och beskriva stora områden med relativt gott utfall. Skattningar av data så som grundyta, virkesförråd och trädslagsblandning utifrån satellitbilsdata kommer, enligt min mening, i en snar framtid vara det sätt som man inom skogsbruket skaffar sina skogliga data.

4.1 Beståndsindelning

De beståndsindelningar som skapades, skapades med målet att ha en lika stor medelbeståndsstorlek och linjelängd som flygbildstolkningen med fältkontroll. Indelningarna fick dock inte exakt lika lång linjelängd vilket kan ha påverkat resultatet. Man kan se att den längsta gränslängden återfanns hos kNN metoden och här fanns också de i medeltal tydligaste gränserna.

Om man studerar indelningarna som gjordes så finner man att många gränser hos de tre indelningstyperna sammanfaller helt eller delvis.

En liknande studie genomfördes av Hagner (1990), där han jämför beståndsindelningen mellan flygbildstolkning med efterföljande fältkontroll och t-kvotsegmentering. Resultaten från den studien visar att effektiviteten vid beståndsindelning är lika bra för bägge metoderna gällande grundyta och volym, men att flygbildsmetoden är effektivare gällande trädslagsfördelning och diameter.

4.1.1 Flygbildstolkning med fältkontroll

Det råder inget tvivel om att det under fältundersökningen hittades gränser där den Gröna planen beskrev att dessa skulle finnas. Det finns dock många olika typer av gränser vid indelning vid skogsbruksplanläggning. Detta beror på att man delar in skogen, inte bara efter trädens beskaffenhet, utan även efter drivningsaspekter och naturvårdshänsyn. Dessa gränstyper skulle kunna påverka resultaten för flygbildstolkningen med fältkontroll i negativ riktning. Bland de inventerade gränserna fanns dock inga sådana gränser. Slutsatsen efter fältbesöket är att man med denna typ av indelning hittar meningsfulla gränser.

4.1.2 Segmentering utifrån spektrala data

Att segmentera en satellitbild utifrån spektrala data har en nackdel, den delar in bilden efter spektrala skillnader och inte efter beståndsvariabler. Detta betyder att det finns andra faktorer än de variabler som är beståndsavgränsade som påverkar indelningen. Dessutom påverkas indelningen av atmosfäriska störningar eller likande effekter som påverkar bildkvaliteten. Detta gör att en sådan segmentering till bestånd i teorin inte blir lika bra som en segmentering utifrån beståndsdata.

4.1.3 Segmentering utifrån skattade variabler

Den indelningen som gjordes utifrån kNN-skattningarna gav i medeltal de tydligaste gränserna för alla variabler utom gran- och lövandel. Genom att använda skattade variabler istället för satellitbildens spektralvärden kommer gränserna att dras utifrån de variabler som

används för beståndsavgränsningen och inte utifrån de variabler som mest påverkar bildens utseende. Dessutom undviks problem som uppstår när tex två eller fler satellitbilder måste användas för segmenteringen. Varje satellitbilsregistrering är spektralt unik och om flera satellitbilder skall användas måste de kalibreras spektralt, vilket är relativt komplicerat. Man skulle därför kunna säga att segmenteringen får en ytterliggare dimension, i och med att den baseras på skattade variabler.

Ett förvånande resultat var att även medelvärdet för trädvariabler, så som höjd, var tydligast i segmentering utifrån skattade variabler. En teori till detta är att det beror på att skogarna i försöksområdet är skötta enligt gallringsmallen och därför uppvisar tydliga skillnader i t ex höjd.

Slutligen gjordes en jämförelse mellan metoderna baserat på alla variabler utom grundyta för gran. Resultaten visar att det inte finns någon signifikant skillnad mellan metoderna. Vilket betyder att det inte går att säga att någon av metoderna är bättre än de andra.

4.2 Framtiden

För att nå rätt genomsnittstorlek på bestånden, tvingades jag frångå indelningskriterierna som skogsvårdsstyrelsen har vid grön skogsbruksplanläggning. Om det framtagna programmet skall användas bör man utveckla någon typ av standard för inställningarna, dessa bör prövas fram på en rad olika skogstyper. Om indelningskriterierna kunde specificeras bättre och om rasterskattningar hade en bättre kvalitet skulle programmet som tagits fram i det här examensarbetet säkert kunna användas operationellt för att avgränsa bestånd. Framtidens skattningar kommer med säkerhet att bli mer exakta då satelliterna får högre upplösning och om man kombinerar data från olika sensorer.

Trots att det inte blev någon signifikant skillnad mellan metoderna indikerar resultaten att segmentering utifrån skattade variabler är den metod som i medeltal hittar de tydligaste gränserna. Dock hade flygbildstolkningen med fältkontroll nästa alltid de högsta maxvärdet. Vad betyder då detta? Jag drar slutsatsen att där programmet drog gränser i landskapet finns det också tydliga gränser. Frågan som återstår att besvara är om den indelning som skapades med segmentering utifrån skattade data också är en tillfredställande beståndsindelning. Om dessa bestånd är homogena rakt igenom, och om de motsvarar de indelnings kriterier som Skogsvårdsstyrelsen har. För att besvara denna fråga krävs en utförligare fältundersökning av respektive bestånd och en utvärdering ställt mot indelningskriterierna för Grön skogsbruksplanläggning.

Av de observationer jag kunnat göra under fältinventeringen tycker jag att den bästa indelningen erhöles för flygbildstolkningen med efterföljande fältkontroll trots att segmenteringen utifrån skattade variabler många gånger fann samma gränser som flygbildstolkningen. Det fanns gränser i segmenteringsmetoden utifrån skattade variabler som var mindre lämpliga. Detta tror jag beror på felmarginalen i kNN-skattningarna och på de vida gränserna i indelningskriterierna jag tvingades gör för att uppnå önskad linjelängd. Jag tror att man kan göra en bättre indelning om man får indela utan förutbestämd linjelängd eller medelareal. Det är svårt att uttala sig om homogeniteten inom bestånden då jag oftast bara besökte en del av varje bestånd. Beståndsavgränsningen var inte nödvändigtvis den bästa tänkbara, men man kunde enkelt finna förklaringen till den.

Resultat är mycket intressanta, men det återstår en hel del undersökningar och vidare tester innan segmenteringsteknik kan komma till allmänt bruk. Det data som producerades av AML-programmet skulle kunna användas på samma sätt som man idag använder flygbildstolkat material d.v.s. att man har en efterföljande uppföljning i fält för att korrigera de fel materialet innehåller.

4.3 Felkällor

Som tidigare nämnts så finns det en rad störningar som påverkar satellitbilder och att dessa påverkar i sin tur både segmenteringen och kNN-skattningarna. Skattningarna innehåller också ett visst slumpfel som kommer att påverka indelningen.

Alla tre indelningar kan ha felplacerade gränser i förhållande till vad som visas på kartan, särskilt eftersom alla tre baseras på rasterdata och därför kan ha en felplacering som är lika stor som pixelstorleken (25 m). För att inte detta skulle få någon betydelse så positionsbestämde gränsen i fält och provytorna är utlagda från den verkliga gränsen. De gånger när någon gräns ej återfunnits i fält så har gränsen från kartan använts och positionsbestämts med GPS.

Data från fältinventeringen innehåller fel, men mätfelen borde ha mindre betydelse då samma person utfört alla mätningarna.

5. Källförteckning.

Environmental Systems Research Institute, Inc. 1988. *ARC Macro Language and User Interface Tools*. ESRI Redlands CA 2nd printing 1988.

Haara, Arto., Maltamo, Matti., och Tokola, Timo 1996. The k-nearest-neighbour Method for Estimating Basal-area Diameter Distribution. In: *Scandinavian Journal of Forest Research*, nr. 12: 200-208, 1997. Scandinavian University Press 1997.

Hagner, Olle. Nilsson, Mats. och Olsson, Håkan. 1999. Satelliter ser skogen. In: *Fakta Skog*, nr 9, 1999. SLU Repoheten, Uppsala 1999.

Hagner, Olle. 1990. Computer aided forest stand delineation and inventory based on satellite remote sensing. In: *The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory and Planning*. Proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26-28 February 1990, s 94-105.

Holmström, Hampus., Nilsson, Mats., och Ståhl, Göran. 2000. Simultaneous Estimations of Forest Parameters using Aerial Photograph Interpreted Data and the k Nearest Neighbour Method. In: *Scandinavian Journal of Forest Research*, nr 16: 67-78, 2001. Taylor and Francis 2001.

Krzanowski, W. J. 2000. Principles of multivariate analysis: a user's perspective. Revised Edition. ISBN:0-19-850708-9. Oxford University Press, Inc., New York.

Lillesand, Thomas M och Kiefer, Ralph W. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 2000. s. 472, 532-565.

Muironen, Eero och Tokola, Timo. 1990. An application of remote sensing for communal forest inventory. In: *The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory and Planning*, proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26-28 February 1990, s. 35-42.

Nilsson, Mats. 1997. Estimation of Forest Variables Using Satellite Image Data and Airborne Lidar. SLU Grafiska enheten , Umeå 1997. s. 20-28.

Skogsstyrelsen. 1998. Instruktion för datainsamling vid grön skogsbruksplanläggning 1998. Skogsstyrelsen.

Tomppo, Erkki. 1990. Designing a satellite image-aided national forest survey in Finland. In: *The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory and Planning*, proceedings from SNS/IUFRO workshop in Umeå 26-28 February, s. 43-47.

Åge, P. J. 1983. Mätning och tolkning i flygbilder för skogsinventering. LMV-rapport 1983:5.

Bilaga 1

AML-program för segmentering utifrån rasterskikt med skattade variabler

Det första AML-programmet gör är att tilldela medianvärden till segmenten från den inledande segmenteringen, detta görs med hjälp av funktionen ZONALMEDIAN. Som input används segmenteringen i gridformat, samt ett skikt för varje kNN-skattad variabel. Ett av de viktigare stegen i programmet är att dela in kNN-skattningarna i klasser. De nya klasserna skall motsvara kraven för avgränsning av bestånd enligt de krav man själv har för beståndsavgränsning, i det här fallet var det SVS:s krav. Detta görs genom att skapa en ASCII-tabell, i ArcInfo, som definierar klasserna. Denna tabell används sedan i funktionen RECLASS. De nya gridarna ska nu omvandlas till vektorformat. Till varje polygonskikt läggs nu en ny tabellkolumn. Kolumnen får namnet efter det skikt den tillhör, t ex Diameter – ”Diam” osv. I varje ny kolumn tillskrivs värdet från varje pixel i respektive grid. Slutligen skall gränserna mellan polygoner med samma värde lösas upp med DISSOLVE.

Nu har en ny beståndsindelning skapats. Det återstår dock att tilldelas bestånden kNN-skattningar från originalskattningarna på samma sätt som tidigare i programmet med ZONALMEDIAN. Till slut har programmet producerat en beståndsindelning med skattade data. En schematisk uppläggning av programmet finns i bilaga 2.

Bilaga 2.

Schematisk bild av programmet för segmentering utifrån kNN-uppskattade variabler (STANDS.AML)

Indata: Segment (*.LAN), skattningar (grid), reklassifiseringstabeller (ASCII)

IMAGEGRID (ARC)

(Segment till gridformat)



ZONALMEDIAN (GRID)

(tar ut medianvärden för segmenten)



RECLASS (GRID)

(omklassificerar skattningarna enligt klasserna i ASCII tabellen)



ASCII tabell

(bestämmer intervall på de nya klasserna)



GRIDPOLY (ARC)

(konverterar de omklassificerade skattningar till polygoner)



ADDITEM (TABLES)

(ger tabellerna till polygonteman nya kolumner)



CALCULATE (TABLES)

(kopierar värdet från omklassificeringen till de nya kolumnerna)



DROPITEM (TABLES)

(rensar tabeller från kolumner som ej är nödvändiga)



DISSOLVE (ARC)

(slår ihop segment genom att ta bort mellanliggande gränser)



POLYGRID (ARC)

(konverterar den nya indelningen till gridformat)



ZONALMEDIAN (GRID)

(tar ut medianvärden för de nya segmenten)



GRIDPOLY (ARC)

(konverterar de nya segmenten med tillhörande skattningar till polygoner)



ADDITEM (TABLES)

(ger tabellerna till polygonteman nya kolumner)



CALCULATE (TABLES)

(kopierar medianvärdena till de nya kolumnerna)



DROPITEM (TABLES)

(tar bort "onödiga" kolumner från den slutliga beståndsindelningen.)



STANDS.PAT

(Klart polygon skikt innehållande en beståndsindelning med tilldelade skattningar)

Fältutrustning.



Bild 1. 1;Pocket PC – Compaq Ipaq, 2; Skäl till Ipaq. 3; GPS – Garmin 12 XL.

Bilaga 4

Indelningskriterier

Indelningskriterier för segmenteringsmetoden baserad på skattade data. Intervall för varje klass till vänster och klass till höger.

Höjd (m)

<u>Intervall</u>	<u>Klass</u>
0-20 :	1
21-50 :	2
51-100 :	3
101-130 :	4
131-190 :	5
191-210 :	6

Diameter (mm)

<u>Intervall</u>	<u>Klass</u>
0-70 :	1
71-130 :	2
131-199 :	3
200-260 :	4
261-320 :	5
321-700 :	6

Ålder (år)

<u>Intervall</u>	<u>Klass</u>
0-5 :	1
6-66 :	2
67-150 :	3

SI (H100)

<u>Intervall</u>	<u>Klass</u>
0-4 :	1
5-8 :	2
9-12 :	3
13-15 :	4
16-21 :	5
22-26 :	6
27-31 :	7

Tall/Gran/Löv (procent)

<u>Intervall</u>	<u>Klass</u>
0-30 :	1
31-80 :	2
81-100 :	3

Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation. Rapporterna är indelade i följande grupper: Riksskogstaxeringen, Planering och inventering, Biometri, Fjärranalys, Kompendier och undervisningsmaterial, Examensarbeten, Internationellt samt NILS. Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

Riksskogstaxeringen:

- | | | | |
|------|----|---|---|
| 1995 | 1 | Kempe, G. | Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE |
| | 2 | Nilsson, P. | Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - Metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE |
| 1997 | 23 | Lundström, A.,
Nilsson, P. &
Ståhl, G. | Certifieringens konsekvenser för möjliga uttag av industri- och energived. - En pilotstudie. ISRN SLU-SRG-AR--23--SE |
| | 24 | Fridman, J. &
Walheim, M. | Död ved i Sverige. - Statistik från Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--24--SE |
| 1998 | 30 | Fridman, J.,
Kihlblom, D. &
Söderberg, U. | Förslag till miljöindexsystem för naturtypen skog. ISRN SLU-SRG-AR--30--SE |
| | 34 | Löfgren, P. | Skogsmark, samt träd- och buskmark inom fjällområdet. En skattning av arealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--34--SE |
| | 37 | Odell, P. & Ståhl, G. | Vegetationsförändringar i svensk skogsmark mellan 1980- och 90-talet. - En studie grundad på Ståndortskarteringen. ISRN SLU-SRG-AR--37--SE |
| | 38 | Lind, T. | Quantifying the area of edges zones in Swedish forest to assess the impact of nature conservation on timber yields. ISRN SLU-SRG-AR--38--SE |
| 1999 | 50 | Ståhl, G.,
Walheim, M. &
Löfgren, P. | Fjällinventering. - En utredning av innehåll och design. ISRN SLU-SRG-AR--50--SE |

- 52 Fridman, J. & Ståhl, G. (Redaktörer) Utredningar avseende innehåll och omfattning i en framtida Riksskogstaxering. ISRN SLU-SRG-AR--52--SE
- 54 Fridman, J., Holmström, H., Nyström, K., Petersson, H., Ståhl, G. & Wulff, S. Sveriges skogsmarksarealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--54--SE
- 56 Nilsson, P. & Gustafsson, K. Skogsskötseln vid 90-talets mitt - läge och trender. ISRN SLU-SRG-AR--56--SE
- 57 Nilsson, P. & Söderberg, U. Trender i svensk skogsskötsel - en intervjuundersökning. ISRN SLU-SRG-AR--57--SE
- 2000 65 Bååth, H., Gällerspång, A., Hallsby, G., Lundström, A., Löfgren, P., Nilsson, M. & Ståhl, G. Metodik för skattning av lokala skogsbränsleresurser. ISRN SLU-SRG-AR--65--SE
- 75 von Segebaden, G. Komplement till "RIKSTAXEN 75 ÅR". ISRN SLU-SRG-AR--75--SE
- 2001 86 Lind, T. Kolinnehåll i skog och mark i Sverige - Baserat på Riksskogstaxeringens data. ISRN SLU-SRG-AR--86--SE
- 2003 110 Berg Lejon, S. Studie av mätmetoder vid Riksskogstaxeringens årsringsmätning. ISRN SLU-SRG--AR--110--SE
- 116 Ståhl, G. Critical length sampling for estimating the volume of coarse woody debris. ISRN SLU-SRG-AR--116--SE
- 117 Ståhl, G., Blomquist, G. & Eriksson, A. Mögelproblem i samband med risrensning inom Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--117--SE

- 118 Ståhl, G. Boström, B. Lindkvist, H. Lindroth, A. Nilsson, J. Olsson, M. Methodological options for quantifying changes in carbon pools in Swedish forests. ISRN SLU-SRG-AR--118--SE
- 2004 129 Bååth, H., Eriksson, B., Lundström, A., Lämås, T., Johansson, T., Persson, J A. & Sundquist, S. Internationellt utbyte och samarbete inom forskning och undervisning i skoglig mätteknik och inventering. -Möjligheter mellan en region i södra USA och SLU. ISRN SLU-SRG-AR--129--SE

Planering och inventering:

- 1995 3 Homgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Colombia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE
- 1996 15 van Kerkvoorde, M. An Sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE
- 1997 18 Christoffersson, P. & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN SLU-SRG-AR--18--SE
- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN SLU-SRG-AR--19--SE
- 25 Lämås, T. & Ståhl, G. Skattning av tillstånd och förändringar genom inventeringssimulering - En handledning till programpaketet. ISRN SLU-SRG-AR--25--SE
- 26 Lämås, T. & Ståhl, G. Om detektering av förändringar av populationer i begränsade områden. ISRN SLU-SRG-AR--26--SE
- 1999 59 Petersson, H. Biomassafunktioner för trädfraktioner av tall, gran och björk i Sverige. ISRN SLU-SRG-AR--59--SE

- | | | | |
|------|-----|---|---|
| | 63 | Fridman, J.,
Löfstrand, R. &
Roos, S. | Stickprovsvis landskapsövervakning - En förstudie. ISRN SLU-SRG-AR--63--SE |
| 2000 | 68 | Nyström, K. | Funktioner för att skatta höjdtillväxten i ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--68--SE |
| | 70 | Walheim, M. | Metodutveckling för vegetationsövervakning i fjällen. ISRN SLU-SRG-AR--70--SE |
| | 73 | Holm, S. &
Lundström, A. | Åtgärdsprioriteter. ISRN SLU-SRG-AR--73--SE |
| | 76 | Fridman, J. &
Ståhl, G. | Funktioner för naturlig avgång i svensk skog. ISRN SLU-SRG-AR--76--SE |
| 2001 | 82 | Holmström, H. | Averaging Absolute GPS Positionings Made Underneath Different Forest Canopies - A Splendid Example of Bad Timing in Research. ISRN SLU-SRG-AR--82--SE |
| 2002 | 91 | Wilhelmsson, E. | Forest use and it's economic value for inhabitants of Skräven and Hakkas in Norrbotten. ISRN SLU-SRG-AR--91--SE |
| | 93 | Lind, T. | Strategier för Östads säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig planering ur ett företagsperspektiv ht 2001, SLU Umeå. ISRN SLU-SRG-AR--93--SE |
| | 94 | Eriksson, O. et. al. | Wood supply from Swedish forests managed according to the FSC-standard. ISRN SLU-SRG-AR--94--SE |
| 2003 | 108 | Paz von Friesen, C. | Inverkan på provytans storlek på regionala skattningar av skogstyper. En studie av konsekvenser för uppföljning av miljömålen. SLU-SRG-AR--108--SE |

Biometri:

- | | | | |
|------|----|-------------|---|
| 1997 | 22 | Ali, A. A. | Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SRG--AR--22--SE |
| 1999 | 64 | Berhe, L. | Spatial continuity in tree diameter distribution. ISRN SLU-SRG--AR--64--SE |
| 2001 | 88 | Ekström, M. | Nonparametric Estimation of the Variance of Sample Means Based on Nonstationary Spatial Data. ISRN SLU-SRG-AR--88--SE |

- | | | | |
|------|----|------------------------------------|--|
| | 89 | Ekström, M. & Belyaev, Y. | On the Estimation of the Distribution of Sample Means Based on Non-Stationary Spatial Data. ISRN SLU-SRG-AR--89--SE |
| | 90 | Ekström, M. & Sjöstedt-de Luna, S. | Estimation of the Variance of Sample Means Based on Nonstationary Spatial Data with Varying Expected Values. ISRN SLU-SRG-AR--90--SE |
| 2002 | 96 | Norström, F. | Forest inventory estimation using remotely sensed data as a stratification tool - a simulation study. ISRN SLU-SRG-AR--96--SE |

Fjärranalys:

- | | | | |
|------|----|--|---|
| 1997 | 28 | Hagner, O. | Satellitfjärranalys för skogsföretag. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE |
| | 29 | Hagner, O. | Textur i flygbilder för skattningar av beståndsegenskaper. ISRN SLU-SRG-AR--29--SE |
| 1998 | 32 | Dahlberg, U., Bergstedt, J. & Pettersson, A. | Fältinstruktion för och erfarenheter från vegetationsinventering i Abisko, sommaren 1997. ISRN SLU-SRG-AR--32--SE |
| | 43 | Wallerman, J. | Brattåkerinventeringen. ISRN SLU-SRG-AR--43--SE |
| 1999 | 51 | Holmgren, J., Wallerman, J. & Olsson, H. | Plot-level Stem Volume Estimation and Tree Species Discrimination with Casi Remote Sensing. ISRN SLU-SRG-AR--51--SE |
| | 53 | Reese, H. & Nilsson, M. | Using Landsat TM and NFI data to estimate wood volume, tree biomass and stand age in Dalarna. ISRN SLU-SRG-AR--53--SE |
| 2000 | 66 | Löfstrand, R., Reese, H. & Olsson, H. | Remote sensing aided Monitoring of Nontimber Forest Resources - A literature survey. ISRN SLU-SRG-AR--66--SE |
| | 69 | Tingelöf, U. & Nilsson, M. | Kartering av hyggeskanter i pankromatiska SPOT-bilder. ISRN SLU-SRG-AR--69--SE |
| | 79 | Reese, H. & Nilsson, M. | Wood volume estimations for Älvsbyn Kommun using SPOT satellite data and NFI plots. ISRN SLU-SRG-AR--79--SE |

- 2003 106 Olofsson, K. TreeD version 0.8. An Image Processing Application for Single Tree Detection. ISRN SLU-SRG-AR--106-SE
- 2003 112 Olsson, H. Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne
Granqvist Pahlen, Laser Scanning of Forests. September 3 & 4, 2003. Umeå, Sweden.
T. Reese, H. ISRN SLU-SRG-AR--112--SE
Hyypä, J.
Naesset, E.
- 114 Manterola Computer Visualization of forest development scenarios in
Matxain, I. Bäcksjön estate. ISRN SLU-SRG-AR--114--SE
- 2004 122 Dettki, H. & Skoglig GIS- och fjärranalysundervisning inom Jägmästar- och
Wallerman, J. Skogsvetarprogrammet på SLU. - En behovsanalys. ISRN SLU-
SRG-AR--122--SE
- 2005 136 Bohlin, J. Visualisering av skog och skogslandskap -erfarenheter från
användning av Visual Nature Studio 2 och OnyxTree. ISRN SLU-
SRG-AR--136--SE

Kompendier och undervisningsmaterial:

- 1996 14 Holm, S. & En analys av skogstillståndet samt några alternativa
Thuresson, T. samt avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri. ISRN SLU-
jägm. studenter SRG-AR--14--SE
kurs 92/96
- 1997 21 Holm, S. & En analys av skogstillståndet samt några alternativa
Thuresson, T. samt avverkningsberäkningar för en stor del av Östads säteri. ISRN SLU-
jägm.studenter SRG-AR--21--SE
kurs 93/97.
- 1998 42 Holm, S. & Lämås, An analysis of the state of the forest and of some management
T. samt alternatives for the Östad estate. ISRN SLU-SRG-AR--42--SE
jägm.studenter
kurs 94/98.

- 1999 58 Holm, S. & Lämås, T. En analys av skogstillsåndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--58-SE
T. samt studenter vid Sveriges lantbruksuniversitet.
- 2001 87 Eriksson, O. (Ed.) Strategier för Östads säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig planering ur ett företagsperspektiv HT2000, SLU Umeå. ISRN SLU-SRG-AR--87--SE
- 2003 115 Lindh, T. Strategier för Östads Säteri: Redovisning av planer framtagna under kursen Skoglig Planering ur ett företagsperspektiv HT 2002, SLU Umeå. SLU-SRG--AR--115--SE

Examensarbeten:

- 1995 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det? ISRN SLU-SRG-AR--5--SE
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. ISRN SLU-SRG--AR--6--SE
- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? ISRN SLU-SRG-AR--7--SE
- 8 Ranvald, C. Sortimentinriktad avverkning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnsköldsviks förvaltning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (Quercus Robur L.) in Sweden. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. ISRN SLU-SRG-AR--12--SE

- | | | | |
|------|----|----------------|---|
| | 13 | Gunnarsson, F. | On the potential of Kriging for forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE |
| | 16 | Tormalm, K. | Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE |
| 1997 | 17 | Engberg, M. | Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla förnygringsytor på Sundsvalls arbetsområde, SCA. ISRN SLU-SRG-AR--17--SE |
| | 20 | Cedervind, J. | GPS under krontak i skog. ISRN SLU-SRG-AR--20--SE |
| | 27 | Karlsson, A. | En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd. ISRN SLU-SRG-AR--27--SE |
| 1998 | 31 | Bendz, J. | SÖDRAs gröna skogsbruksplaner. En uppföljning relaterad till SÖDRAs miljömål, FSC's kriterier och svensk skogspolitik. ISRN SLU-SRG-AR--31--SE |
| | 33 | Jonsson, Ö. | Trädsikt och ståndortsförhållanden i strandskog. - En studie av tre bäckar i Västerbotten. ISRN SLU-SRG-AR--33--SE |
| | 35 | Claesson, S. | Thinning response functions for single trees of Common oak (<i>Quercus Robur</i> L.). ISRN SLU-SRG-AR--35--SE |
| | 36 | Lindskog, M. | New legal minimum ages for final felling. Consequenses and forest owner attitudes in the county of Västerbotten. ISRN SLU-SRG-AR--36--SE |
| | 40 | Persson, M. | Skogsmarkindelningen i gröna och blå kartan - en utvärdering med hjälp av Riksskogstaxeringens provytor. ISRN SLU-SRG-AR--40--SE |
| | 41 | Eriksson, M. | Markbaserade sensorer för insamling av skogliga data - en förstudie. ISRN SLU-SRG-AR--41--SE |
| | 45 | Gessler, C. | Impedimentens potentiella betydelse för biologisk mångfald. - En studie av myr- och bergimpediment i ett skogslandskap i Västerbotten. ISRN SLU-SRG-AR--45--SE |
| | 46 | Gustafsson, K. | Långsiktsplanering med geografiska hänsyn - en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber. ISRN SLU-SRG-AR--46--SE |

- | | | | |
|------|----|---------------|--|
| | 47 | Holmgren, J. | Estimating Wood Volume and Basal Area in Forest Compartments by Combining Satellite Image Field Data. ISRN SLU-SRG-AR--47--SE |
| | 49 | Härdelin, S. | Framtida förekomst och rumslig fördelning av gammal skog. - En fallstudie på ett landskap i Bräcke arbetsområde. ISRN SLU-SRG-AR--49--SE |
| 1999 | 55 | Imamovic, D. | Simuleringsstudie av produktionskonekvenser med olika miljömål. ISRN SLU-SRG-AR--55--SE |
| | 62 | Fridh, L. | Utbytesprognoser av rotstående skog. ISRN SLU-SRG-AR--62--SE |
| 2000 | 67 | Jonsson, T. | Differentiell GPS-mätning av punkter i skog. Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy. ISRN SLU-SRG-AR--67--SE |
| | 71 | Lundberg, N. | Kalibrering av den multivariata variabeln trädslagsfördelning. ISRN SLU-SRG-AR--71--SE |
| | 72 | Skoog, E. | Leveransprecision och ledtid - två nyckeltal för styrning av virkesflödet. ISRN SLU-SRG-AR--72--SE |
| | 74 | Johansson, L. | Rotröta i Sverige enligt Riksskogstaxeringen. - En beskrivning och modellering av rötförekomst hos gran, tall och björk. ISRN SLU-SRG-AR--74--SE |
| | 77 | Nordh, M. | Modellstudie av potentialen för renbete anpassat till kommande slutavverkningar. ISRN SLU-SRG-AR--77--SE |
| | 78 | Eriksson, D. | Spatial Modeling of Nature Conservation Variables useful in Forestry Planning. ISRN SLU-SRG-AR--78--SE |
| | 81 | Fredberg, K. | Landskapsanalys med GIS och ett skogligt planeringssystem. ISRN SLU-SRG-AR--81--SE |
| 2001 | 83 | Lindroos, O. | Underlag för skogligt länsprogram Gotland. ISRN SLU-SRG-AR--83--SE |

- | | | | |
|------|-----|----------------|---|
| | 84 | Dahl, M. | Satellitbildsbaserade skattningar av skogsområden med röjningsbehov (Satellite image based estimations of forest areas with cleaning requirements). ISRN SLU-SRG-AR--84--SE |
| | 85 | Staland, J. | Styrning av kundanpassade timmerflöden - Inverkan av traktbankens storlek och utbytesprognosens tillförlitlighet. ISRN SLU-SRG-AR--85--SE |
| 2002 | 92 | Bodenhem, J. | Tillämpning av olika fjärranalysmetoder för urvalsförfarandet av ungskogsbestånd inom den enkla älgbetesinventeringen (ÄBIN). ISRN SLU-SRG-AR--92--SE |
| | 95 | Sundquist, S. | Utveckling av ett mått på produktionsslutenhet för Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--95--SE |
| | 98 | Söderholm, J. | De svenska skogsbolagens system för skoglig planering. ISRN SLU-SRG-AR--98--SE |
| | 99 | Nordin, D. | Fastighetsgränser. Del 1. Fallstudie av fastighetsgränserns lägesnoggrannhet på fastighetskartan. ISRN SLU-SRG-AR--99--SE |
| | 100 | Nordin, D. | Fastighetsgränser. Del 2. Instruktion för gränsvård. ISRN SLU-SRG-AR--100--SE |
| | 101 | Nordbrandt, A. | Analyser med Indelningspaketet av privata skogsfastigheter inom Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. ISRN SLU-SRG-AR--101--SE |
| 2003 | 102 | Wallin, M. | Satellitbildsanalys av gremmeniellaskador med skogsvårdsorganisationens system. ISRN SLU-SRG-AR--102--SE |
| | 103 | Hamilton, A. | Effektivare samråd mellan rennäring och skogsbruk - förbättrad dialog via ett utvecklat samrådsförfarande. ISRN SLU-SRG-AR--103--SE |
| | 104 | Hajek, F. | Mapping of Intact Forest Landscapes in Sweden according to Global Forest Watch methodology. ISRN SLU-SRG-AR--104--SE |
| | 105 | Anerud, E. | Kalibrering av ståndortsindex i beståndsregister - en studie åt Holmen Skog AB. ISRN SLU-SRG-AR--105--SE |

- | | | | |
|------|-----|-------------------|--|
| | 107 | Pettersson, L. | Skördarnavigering kring skyddsvärda objekt med GPS-stöd. SLU-SRG-AR--107--SE |
| | 109 | Östberg, P-A. | Försök med subjektiva metoder för datainsamling och analys av hur fel i data påverkar åtgärdsförslagen. SLU-SRG-AR--109--SE |
| | 111 | Hansson, J. | Vad tycker bilister om vägnära skogar - två enkätstudier. SLU-SRG-AR--111--SE |
| | 113 | Eriksson, P. | Renskötseln i Skandinavien. Förutsättningar för sambruk och konflikthantering. SLU-SRG-AR--113--SE |
| | 119 | Björklund, E. | Medlemmarnas syn på Skogsägarna Norrskog. ISRN SLU-SRG--AR--119--SE |
| 2004 | 120 | Fogdestam, Niklas | Skogsägarna Norrskog:s slutavverkningar och PEFC-kraven - fältinventering och intervjuer. ISRN SLU-SRG--AR--120--SE |
| | 121 | Petersson, T | Egenskaper som påverkar hänsynsarealer och drivningsförhållanden på föryngringsavverkningstrakter -En studie över framtida förändringar inom Sveaskog. ISRN SLU-SRG--AR--121--SE |
| | 123 | Mattsson, M | Markägare i Stockholms län och deras inställning till biodiversitet och skydd av mark. ISRN SLU-SRG--AR--123--SE |
| | 125 | Eriksson, M. | Skoglig planering och ajourhållning med SkogsGIS - En utvärdering av SCA:s nya GIS-verktyg med avseende på dess introduktion, användning och utvecklingspotential. ISRN SLU-SRG--AR--125--SE |
| | 130 | Olmårs, P. | Metrias vegetationsdatabas i skogsbruket - En GIS-studie. ISRN SLU-SRG--AR--130--SE |
| | 131 | Nilsson, M. | Skogsmarksutnyttjande på Älvdalens kronopark före 1870. En kulturhistorisk beskrivning och analys. ISRN SLU-SRG--AR--131--SE |
| 2005 | 133 | Bjerner, J. | Betydelsen av felaktig information i traktbanken -Inverkan på virkesleveranser samt tidsåtgång och kostnad vid avverkningar. ISRN SLU-SRG--AR--133--SE |

- 138 Kempainen, E. Ett kalkylstöd för ekonomiska analyser av avverkningsåtgärder på beståndsnivå. A calculation support program for economic analysis of cutting actions on stand level. ISRN SLU-SRG--AR--138--SE
- 140 González, J.D.D. A time study and description of the work methods for the field work in the National Inventory of Landscapes in Sweden. ISRN SLU-SRG--AR--140--SE
- 141 Jacobsson, L. Förbättringspotential i avverkningsplanering
-En fallstudie av ett års avverkningar på två distrikt inom SCA skog, Jämtlands förvaltning. ISRN SLU-SRG--AR--141--SE
- 142 Gallegos, Å. Design and evaluation of a computer aided calibration program for visual estimation of vegetation cover. ISRN SLU-SRG--AR--142--SE
- 143 Gålnander, H. Bevarande av naturvärdesträd i enlighet med FSC och Holmen Skogs naturvårdspolicy. ISRN SLU-SRG--AR--143--SE
- 144 Lövdahl, H. Automatisk beståndsavgränsning i satellitbilder - En jämförelse av gränser från två segmenteringsmetoder och Grön Plan ISRN SLU-SRG--AR--144--SE

Internationellt:

- 1998 39 Sandewall, M.,
Ohlsson, B. &
Sandewall, R.K. People's options of forest land use - a research study of land use dynamics and socio-economic conditions in a historical perspective in the Upper Nam Water Catchment Area, Lao PDR. ISRN SLU-SRG-AR--39--SE
- 1998 44 Sandewall, M.,
Ohlsson, B.,
Sandewall, R.K.,
Vo Chi Chung,
Tran Thi Binh &
Pham Quoc Hung. People's options on forest land use. Government plans and farmers intentions - a strategic dilemma. ISRN SLU-SRG-AR--44--SE
- 1998 48 Sengthong, B. Estimating Growing Stock and Allowable Cut in Lao PDR using Data from Land Use Maps and the National Forest Inventory. ISRN SLU-SRG-AR--48--SE

- 1999 60 Sandewall, M. Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning - proceedings from a training workshop in Vietnam and Lao PDR, April 12-30, 1999. ISRN SLU-SRG-AR--60--SE (Edit.).
- 2000 80 Sawathwong, S. Forest Land Use Planning in Nam Pui National Biodiversity Conservation Area, Lao P.D.R. ISRN SLU-SRG-AR--80--SE
- 2002 97 Sandewall, M. Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning in Southern Africa. Proceedings from a training workshop in Botswana, December 3-17, 2001. ISRN SLU-SRG-AR--97--SE

NILS:

- 2004 124 Esseen, P-A., Vegetationskartan över fjällen och Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS) som underlag för Natura 2000. ISRN SLU-SRG-AR--124--SE Löfgren, P.
- 126 Allard, A., Skador på mark och vegetation i de svenska fjällen till följd av Löfgren, P. & barmarkskörning. ISRN SLU-SRG-AR--126--SE Sundquist, S.
- 127 Esseen, P-A., Linjära landskapselement i Sverige: skattningar från 2003 års NILS-data. ISRN SLU-SRG-AR--127--SE Glimskär, A. & Ståhl, G.
- 128 Ringvall, A., Ståhl, Skattningar och precisionsberäkning i NILS - Underlag för G., Löfgren, P. & diskussion om lämplig dimensionering. ISRN SLU-SRG-AR--128--SE Fridman, J.
- 132 Esseen, P-A., Analys av informationsbehov för Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS). ISRN SLU-SRG--AR--132--SE Glimskär, A., Moen, J., Söderström, B. & Weibull, A.
- 2005 134 Glimskär, A., Småbiotoper vid åkermark – indikatorer och flygbildsbaserad uppföljning i NILS. ISRN SLU-SRG--AR--134--SE Allard, A. & Högström, M.
- 135 Hylander, K. & Lavkompendium för Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS) ISRN SLU-SRG--AR--135--SE Esseen, P-A.
- 137 Ericsson, S. Arthandbok Fältkiktsarter för Nationell Inventering av Landskapet i Sverige NILS. ISRN SLU-SRG-AR--137--SE

139 Weibull, H.

Mosskompendium för Nationell Inventering av Landskapet i Sverige (NILS) 2004. ISRN SLU-SRG-AR--139--SE